

云南省页岩气 资源潜力

调查 评价

蒋天国 陈尚斌 郭秀钦 薛晓辉 刘胜彪 等 著



科学出版社

云南省页岩气资源潜力调查评价

蒋天国 陈尚斌 郭秀钦 薛晓辉 刘胜彪 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统研究了云南省页岩气赋存层位、形成地质条件、成藏特征及其资源分布,从地层、构造及岩浆岩等方面阐述页岩气的基本地质特征,分析目标层的沉积环境、演化过程及空间展布规律,论述烃源岩—储层地化特征、储层物质组成、孔裂隙结构及含气性特征,以筇竹寺组与龙马溪组为例研究成藏特征,评估云南省页岩气的资源潜力,优选资源有利区。

本书是当前介绍云南省页岩气资源最全面的书籍,可为云南省页岩气的勘探开发提供依据,可供页岩气及相关地质工作者、教学科研人员及高校学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

云南省页岩气资源潜力调查评价/蒋天国等著. —北京:科学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-03-049217-3

I. ①云… II. ①蒋… III. ①油页岩资源—资源潜力—资源调查—云南省 IV. ①TE155

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第147094号

责任编辑:罗吉 沈旭 孙静/责任校对:李影

责任印制:张倩/封面设计:许瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年8月第一次印刷 印张:17

字数:340 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《云南省页岩气资源潜力调查评价》作者名单

主要作者

蒋天国 陈尚斌 郭秀钦 薛晓辉

刘胜彪 孙 雄 李子胜 杨怡娜

参与人员

董树昆 胡 琳 王显飞 毛 林

付常青 李仕昆 张建兴 董云超

刘红俊 毛 雨 李崇荣 成 鹏

李金龙 高 攀 郭彩旭 王正荣

张 旭 杨 楠 蒋 源 白 燕

王爱莉 周 帅 赵 丽 王 阳

前 言

2015 年国土资源部宣布中国已经成为继美国和加拿大之后的第三个商业性页岩气开发国家,这对于近十年来努力攻克页岩气勘探开发难题的各界同仁来说,是个振奋人心的消息。虽然中国在页岩气领域取得的成绩令世界瞩目,但截至目前,仅南方下古生界海相、四川盆地侏罗系陆相、鄂尔多斯盆地三叠系陆相三个领域取得了较大突破,并形成了一批产能:2013 年页岩气产量为 1.93 亿 m^3 ,2014 年约为 13 亿 m^3 ,2015 年已超过 50 亿 m^3 ;除了涪陵、长宁、威远、昭通、延安等地,其他地区尚未取得较大规模的突破,产量也还极为局限。尽管中国页岩气开发呈现迅速发展态势,但规模开发仍面临极大困难,为降低勘探风险,确定经济可采性,还需深入开展页岩气资源评价、页岩气赋存富集机理和压裂开发等科学技术课题。

云南省是常规油气资源严重贫乏的省份,但页岩气等非常规天然气资源较为丰富。国家“十二五”期间就将云南昭通纳为国家 19 个页岩气资源勘探开发区之一。但总体上来说云南省页岩气地质勘查工作相对滞后,勘查工作程度极低。通过调查评价,初步查清了云南省页岩气资源分布情况和资源现状,找到到可供勘探开发的有利靶区,为云南省页岩气资源勘探开发规划提供了基础地质依据。此次在云南省共遴选出暗色泥页岩层系 5 套作为书中重点勘探目的层,包括下寒武统筇竹寺(牛蹄塘)组、下志留统龙马溪(下仁和桥)组、上志留统玉龙寺组、上二叠统宣威组(龙潭组、长兴组)以及上三叠统须家河组(干海子组和舍资组)。基本查清了云南省页岩气资源的分布情况后,优选了页岩气有利远景区,其中 I 类有利区和 II 类有利区地质资源量合计为 3.97 万亿 m^3 ;另有页岩气远景地质资源量 20.78 万亿 m^3 ,表明云南省页岩气资源量大,具有广阔的页岩气开发前景。昭通地区页岩气开发的突破也从侧面印证了云南省页岩气开发的良好前景。

本书即以此次评价工作为基础,全面介绍云南省页岩气的赋存目标层位、形成地质条件、成藏特征及其资源分布特征。全书共分为九章,第一章为绪论,综述云南省页岩气地质工作历程和研究现状,介绍了云南省页岩气资源调查范围与内容,为更好地理解后续章节做铺垫。第二章至第八章为本书的主要内容。第二章从地层特征、构造特征及岩浆岩分布等方面阐述云南省页岩气地质背景与基本地质特征,为页岩气源岩-储层特征、成藏特征、有利区优选及资源潜力评价的研究与论述奠定基础。第三章和第四章通过页岩层系地质调研,对目标层进行实测剖面分析、钻探工程揭露,分析目标层的沉积环境和演化,以及目标层的空间展

布规律。第五章和第六章分别论述页岩气源岩-储层的地化特征、页岩储层物质组成和孔裂隙结构特征等特征,以及含气性特征。第七章通过埋藏史分析,以筇竹寺组与龙马溪组为例研究云南省页岩气成藏特征。第八章分析页岩气资源评价方法及关键参数的取值,评估云南省页岩气资源潜力,并优选有利区。第九章对研究认识进行总结,对未来发展予以展望。

本书是云南省能源局、云南省发展和改革委员会、云南省煤田地质局、云南煤层气资源勘查开发有限公司、华能澜沧江水电有限公司及云南省能源投资集团有限公司等企业和中国矿业大学密切合作的成果,全书由蒋天国、陈尚斌、郭秀钦、薛晓辉和刘胜彪主笔,蒋天国和陈尚斌负责统稿定稿,付常青、孙雄、李子胜、杨怡娜、王正荣、杨楠、蒋源、毛林、胡琳、王显飞、白燕、成鹏、李金龙、高攀、郭彩旭、刘红俊、毛雨、董云超、张旭、王阳、周帅、王爱莉、李仕昆、董树昆、张建兴、李崇荣和赵丽等参加编写。在研究过程中,得到了罗俊副局长、唐永洪处长、朱炎铭教授、余谦教授等领导专家的指导、支持和审定,在此一并表示衷心的感谢!

本书是当前关于云南省页岩气最为系统和全面的书籍,可为云南省页岩气勘探开发提供依据,也可为邻省区页岩气研究与勘探提供参考。本书力求内容丰富、图文并茂、论述有序;期望所呈现的成果和认识既能推动云南省页岩气的勘探开发,也能丰富页岩气地质学相关理论,为促进云南省能源消费结构变革理念起到积极的推动作用,对促进我国页岩气勘探开发进程产生积极影响。本书可供从事页岩气和煤层气相关地质工作者参考使用,也适合从事资源勘查、矿产普查与勘探等方面的科研、教学人员与研究生使用。

因笔者的研究水平及编著经验有限,对云南省页岩气的认识、分析和总结,以及书稿的编著必然存在不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2016年5月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 页岩气发展趋势及意义	1
第二节 页岩气勘探开发现状	3
第三节 云南省页岩气资源调查范围与内容	8
第二章 云南省区域概况	11
第一节 区域地理概况	11
第二节 地层特征	14
第三节 构造特征	24
第四节 岩浆岩分布特征	42
第三章 页岩气地质调查	48
第一节 目标层调查与遴选	48
第二节 重点目标层实测剖面	72
第三节 钻探工程	99
第四章 沉积环境与空间展布规律	104
第一节 区域沉积演化特征	104
第二节 目标层沉积环境及演化	105
第三节 目标层空间展布规律	127
第五章 页岩气地球化学特征	138
第一节 有机质类型	138
第二节 有机质丰度	142
第三节 有机质成熟度	157
第六章 页岩气源岩-储层物性特征	164
第一节 岩石学特征	164
第二节 矿物学特征	170
第三节 孔裂隙系统特征	181
第四节 渗透性与含气性特征	201
第七章 页岩气成藏特征	212
第一节 埋藏史恢复	212
第二节 古地温	219

第三节	筇竹寺组页岩气成藏特征·····	221
第四节	龙马溪组页岩气成藏特征·····	228
第八章	页岩气有利区优选与资源潜力评价·····	232
第一节	资源潜力评价方法·····	232
第二节	页岩气有利区优选·····	244
第三节	资源评价结果·····	247
第九章	总结与展望·····	253
主要参考文献	·····	256

第一章 绪 论

第一节 页岩气发展趋势及意义

页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层中，以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气，成分以甲烷为主，是一种新型战略性资源，也是一种清洁、高效的绿色能源。作为一种新型天然气资源及常规天然气资源的补充，页岩气已成为全球产量增长最快的气体能源，受到世界各国的极大关注和重视。

全球页岩气资源丰富，技术可采资源量为 203.97 万亿 m^3 (江怀友等, 2014)。近几年，美国页岩气勘探开发技术不断突破，产量快速增长，2014 年页岩气产量约占天然气总产量的 40% (EIA, 2015)，对国际天然气市场及世界能源格局产生重大影响，世界主要页岩气资源国都加大了对页岩气的勘探开发力度。全球经济和社会发展对油气资源需求量的不断增长，页岩气勘探开发技术的不断提高，尤其是美国、加拿大等国页岩气资源勘探开发利用取得成功，极大地提高了世界各国对页岩气勘探开发的热情，推动了全球页岩气勘探开发的进程。

美国、加拿大等国家页岩气资源勘探开发取得成功并实现产业化，也引起了中国政府的高度重视，页岩气被列为中国第 172 种独立矿种，已正式进入国家能源局战略视野，国家相继制定出台了页岩气勘探开发与利用的相关激励扶持政策和管理措施。国民经济和社会发展“十二五”（2011—2015 年）规划明确要求“推进页岩气等非常规油气资源开发利用”；2012 年 3 月，国家能源局制定并颁发了国家首个《页岩气发展规划（2011—2015 年）》，文中明确提出：到“十二五”规划末，全国探明页岩气地质储量 6000 亿 m^3 ，可采储量 2000 亿 m^3 ，页岩气产量 65 亿 m^3 ，并确定了国家页岩气勘探开发的重点区域和“十二五”规划期间页岩气发展的主要目标任务，明确以四川、重庆、云南、贵州等省市为页岩气资源勘探开发的重点工作目标区，将云南所处的滇黔北与南盘江地区列为开展页岩气资源潜力调查与评价的重点地区，并将云南昭通纳为国家 19 个页岩气资源勘探开发区之一，显示了国家对页岩气资源勘探开发的决心和支持力度。因此，开展页岩气资源调查评价对查清云南省页岩气资源潜力和分布、推动页岩气勘探开发、促进全省科技进步、带动地方经济发展、改善优化能源结构、保障稳固能源安全、高效提高节能减排等同样具有十分重要的战略意义。

2012 年国土资源部油气资源战略研究中心组织完成了“全国页岩气资源潜力

调查评价及有利区优选”项目,国土资源部启动了全国页岩气资源调查评价专项,国家安排专项资金建设页岩气勘探开发示范区,全国多个省市均已建立了页岩气资源调查专项基金,积极推动页岩气的调查评价和开发工艺的优化。因此,组织实施云南省页岩气资源调查评价非常紧迫,并具有以下意义:

(1) 有利于推动云南省页岩气产业的发展。云南省作为我国页岩气资源前景较好的地区,针对页岩气开展的工作相对滞后,仅有中石油浙江分公司在昭通彝良、镇雄、威信等探矿权区块内开展勘查工作,局限于局部面上调查和点上研究,从未开展过系统的页岩气资源基础地质综合研究和调查评价等专项地质工作,勘查程度很低;因此,开展云南省页岩气资源调查评价专项工作,有利于查清云南省页岩气资源潜力,评价优选可供勘探开发的有利目标区,为云南省页岩气资源勘探开发规划和整体布局提供可靠的地质依据,对加快云南省页岩气资源勘探开发具有十分重要的战略意义。

(2) 有利于改善云南能源结构,保障能源安全。云南是常规油气资源严重贫乏的省份,对外依存度近 100%。2012 年在规模以上工业主要能源消费量中,原煤消费量 8390.90 万吨,洗精煤消费量 1746.42 万吨,焦炭消费量 1246.61 万吨,天然气消费量 3.5 亿 m^3 ,能源消费结构严重不协调。对云南页岩气资源进行调查评价,加快页岩气资源的勘探开发步伐,充分利用云南丰富的页岩气资源,实现页岩气资源产业化开发和利用,有利于增加天然气供给,缓解云南天然气供需矛盾,改变云南天然气完全依赖外送的局面,改善和优化能源结构,降低温室气体排放量,提高云南省能源资源保障程度。

(3) 有利于带动地方基础设施建设和国民经济发展。页岩气资源勘探开发是一项利国利民的事业,页岩气作为一种新的清洁能源,其开发利用必将得到推动云南产业结构的优化发展,培育新的优势企业,构建多元化工业体系。随着页岩气勘探开发利用产业的发展,当地基础设施建设必将得到改善,促进天然气管网、液化天然气(LNG)、压缩天然气(CNG)等发展;同时,开发利用页岩气还有利于减少二氧化碳排放,保护生态环境;作为一项重大能源基础产业,页岩气开发利用可以拉动钢铁、水泥、化工、装备制造、工程建设等相关行业的发展,增加就业和税收,促进地方经济乃至国民经济的可持续发展。

因此,加快云南省页岩气资源调查评价,尽快摸清页岩气资源“家底”,优选出页岩气勘探有利远景区,评价勘探开发条件,对云南省能源战略布局和经济发展具有重要意义。

第二节 页岩气勘探开发现状

一、页岩气勘探开发现状

(一) 国内外页岩气勘探开发现状

美国页岩气在世界上最早勘探开发成功, 2014 年产量高达 3808 亿 m^3 (EIA, 2015)。继美国之后, 加拿大成为成功商业开发页岩气的第二个国家。2009 年加拿大 Montney 和 Horn River 页岩气产量达 72.3 亿 m^3 , 2014 年加拿大页岩气产量约为 215 亿 m^3 , 在天然气总产量中的比重约为 15% (图 1-1)。

澳大利亚页岩气主要分布在 Cooper 盆地, 目前由澳大利亚的 Beach 石油公司计划开发 (Backé et al., 2011)。此外, 欧洲一些地区经评价表明也有页岩气远景潜力, 部分国家和地区正处在筹备与前期资源评价和勘探阶段 (董大忠等, 2012; 姜福杰等, 2012), 如德国、法国、波兰、荷兰、新西兰、印度、南非等 (图 1-2)。

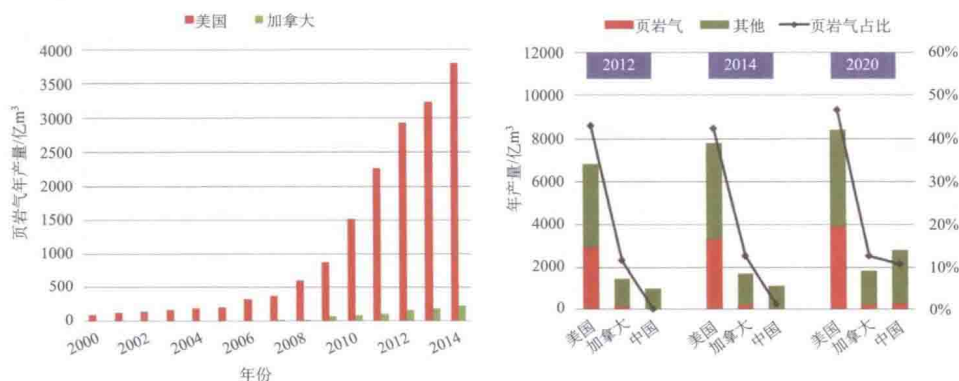


图 1-1 主要页岩气生产国天然气产量现状与预测

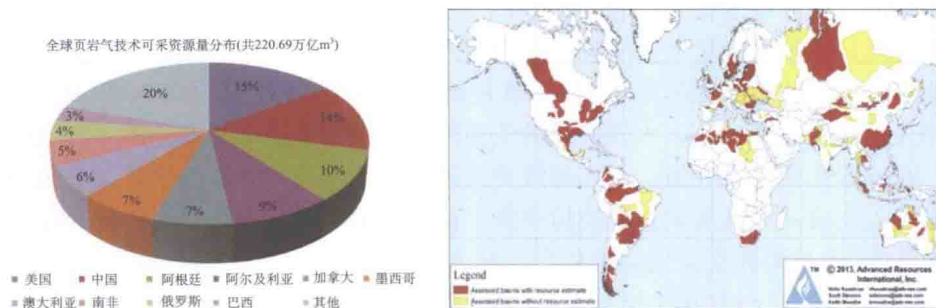


图 1-2 世界页岩气勘探开发现状 (EIA, 2015)

我国也将页岩气的资源调查评价及勘探开发纳入“十二五”规划中,对云南省页岩气资源调查评价、勘探开发与利用起到了助推作用。美国等国家通过近十年的勘探实践与研发,形成了页岩气成藏、勘查开发与综合利用的整套理论与方法技术体系、知识产权和技术标准。成熟先进的页岩气勘探开发技术和成功的经验,为云南省页岩气勘探开发提供了良好的借鉴和技术支撑。2011~2013年,国土资源部组织实施“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目,对我国陆域5大区、41个盆地和地区、87个评价单元、57个含气页岩层段的页岩气资源潜力进行评价,结果表明地质资源潜力134.42万亿 m^3 、技术可采资源潜力25.08万亿 m^3 ;其中海相页岩气8.2万亿 m^3 ,海陆过渡相8.9万亿 m^3 ,陆相7.9万亿 m^3 ,三大沉积相页岩气可采资源潜力相近。

截至2014年12月底,我国共设置页岩气探矿权区块54个,面积约17万 km^2 ,20余家国内外企业在11个省区5大沉积盆地开展页岩气勘探开发(郭旭升等,2014;王志刚,2015)。累计投资230亿元,钻井780口,压裂试气270余口并获页岩气流;二维地震21818 km^2 ,三维地震2134 km^2 ;相继在四川长宁、威远、井研一犍为,重庆涪陵、彭水,云南昭通,贵州习水和陕西延安等地取得重大突破和重要发现,获得三级储量近5000亿 m^3 ,探明地质储量1067.5亿 m^3 ,已形成年产15亿 m^3 产能。在四川盆地发现五峰组—龙马溪组特大型页岩气区,涪陵、长宁、威远三大页岩气田已实现页岩气工业化开采,2015年产量逾40亿 m^3 (郭彤楼和张汉荣,2014;王志刚,2015)。在勘探开发技术方面,已掌握了页岩气地球物理、钻井、完井、压裂改造等技术,具备了4000m浅水平井钻井及分段压裂能力,可自主研发生产压裂车等装备;引进并推广应用了大规模水力压裂技术、多分支水平井钻井技术、微地震监测等技术。

近年来,中国在页岩气资源评价、储层评价、成藏机理研究、开采技术研发、先导性试验区与国家示范区建设等方面均已取得重要进展,海相下古生界和陆相中生界勘探进展尤为显著。页岩气开发以中石油、中石化、延长石油、国土资源部为首的试验区成效尤为显著(表1-1)。目前产气井地区和层位主要有四川盆地涪陵地区、长宁—威远下古生界、元坝自流井组、新场须家河组、鄂尔多斯盆地延长组及滇黔北昭通地区龙马溪组(魏祥峰等,2014;李伟等,2014;陈云金等,2014;王志刚,2015)。大多数学者认为四川盆地是中国最具潜力的页岩气勘探区,在下寒武统筇竹寺组、下志留统龙马溪组、下三叠统须家河组等层系页岩气取得重大突破,已开展试井与模拟产能,截至2014年我国页岩气累计产量超过15亿 m^3 ,尤以海相页岩气高产稳产(邹才能等,2015;王志刚,2015)。

中石化此前计划2015年年末在涪陵部署钻井253口,投资215亿元,实现产能50亿 m^3 ,远期产能达800亿 m^3 /年。截至2014年11月31日的数据综合显示,焦石坝区块大范围内龙马溪组厚度稳定在50~90m,龙马溪组赋存埋深

2200~2500m, 地层温度 65~80℃, 龙马溪组页岩气中 55%~60%为游离气, 其中裂隙尤为发育且多连通。

表 1-1 页岩气勘探重大突破与开发进展

三大突破			三大进展		
领域	井位	日产能 /万 m ³	领域	井位	日产能 /万 m ³
鄂尔多斯/T/陆相	柳坪 177 井	0.24	西北/J/陆相	柴页 1 井	3 段气显示 厚 140.5m
	新 57 井	0.24			
四川/T-J/陆相	新页 HF1 井	4.60	南方/P/交互相	湘页 1 井	0.24
	元坝 21 井	50.70		织 2U-1 井	0.50
南方/Pz ₁ /海相	焦页 HF1 井	20.30	华北/C-P/交互相	云页平 1 井	1.95

中石油主要集中在长宁、威远等区块开展工作, 获得三级储量 2000 多亿 m³, 此前计划 2014~2015 年累计施工钻井 154 口, 总投资 112 亿元, 其中已开钻 119 口, 完钻 94 口。两地 2015 年产量超 25 亿 m³。其中, 威远完钻井 50 口(评价直井 23 口、水平井 27 口), 试气 33 口(评价直井 16 口、水平井 17 口), 6 口水平井日产量超过 10 万 m³, 投入试采 10 口井, 累计生产页岩气商品气量 7922 万 m³, 威远 204 井产量最高, 达 16.5 万 m³/日。2014 年第一季度, 长宁 2 个平台分别进行了 2 口(H3 平台)和 4 口井(H2 平台)的拉链式同步压裂, 单井日均产量分别在 10 万 m³和 20 万 m³以上, 低产井在 5 万 m³/日以上, 长宁 H2-2 井产量最高, 达 21.02 万 m³/日。其次, 中石油在昭通黄金坝建成 5 亿 m³产能, 已部署 16 个平台; 已完钻 10 口水平井, 日均产量为 10 万 m³左右。

截至 2013 年 12 月 20 日, 延长石油累计完钻 39 口, 其中, 直井 32 口(上古生界 4 口, 中生界 28 口), 丛式直井 3 口, 水平井 4 口; 压裂页岩气井 34 口, 其中直井 28 口, 丛式直井 3 口, 水平井 3 口。直井日产量 3000m³, 水平井日产量 8000m³。

中海油芜湖区块 2011 年 12 月 19 日开始地震作业, 2012 年 4 月完成安徽芜湖页岩气昌参 1 井测井, 2012 年 5 月完成取心钻探, 完成首批 3 个钻井; 2014 年 3 月 1 日, 中海油国内首个页岩气探(参数)井——徽页 1 井开钻, 设计孔深 3400m。

中国地质调查局主要工作集中在常德、承德、柴达木、松辽盆地。其中, 常德区块进行了 50km 的二维勘探, 部署了 1 口预探井(慈页 1 井); 在承德、柴达木、松辽盆地等进行了页岩气的钻探评价。

尽管我国页岩气总体呈现迅速发展的态势, 但开发试验仍面临着极大的困境,

钻井试气、试采产量差异性极大,单井日产量从 50 万 m^3 到不足几千立方米,甚至无工业气流。页岩气产量存在巨大的井间差异性,更加详细的地质评价工作亟需开展。

(二) 云南省邻区页岩气勘探开发现状简述

中石油、中石化先后在云、贵、渝、川等省市开展了页岩气资源勘查工作,在四川威远、长宁、富顺—永川、泸县等地建成 20 余口页岩气调查和生产试验井,钻井显示下寒武统筇竹寺组、下志留统龙马溪组等富有机质泥页岩层段均有页岩气,压裂后成功获得了页岩气工业气流(直井稳产 1 万 $\text{m}^3/\text{日}$,涪陵元坝 21 水平井产量达 50 万 $\text{m}^3/\text{日}$),实现了页岩气勘探开发工业化突破,显示了较好的勘探开发潜力。其中重庆于 2009 年率先启动全国首个页岩气资源勘查项目,国土资源部将重庆列为国家页岩气资源勘查先导区,拉开页岩气勘探开发序幕。2012 年 11 月,中石化在位于涪陵的焦页 1HF 井钻获高产页岩气流。2013 年 9 月,国家批准设立重庆涪陵国家级页岩气示范区。2014 年 6 月,国土资源部、重庆市政府、中石化联合设立重庆涪陵页岩气勘查开发示范基地。

国土资源部评价显示,重庆页岩气地质资源潜力 12.75 万亿 m^3 ,可采资源潜力 2.05 万亿 m^3 。自 2009 年以来,已吸引中石化、中石油等 5 家企业先后完成钻气井 162 口,建成产能 25 亿 $\text{m}^3/\text{年}$,累计产气量突破 12 亿 m^3 。根据《重庆市页岩气产业发展规划(2015—2020)》,按照勘探开发、管网建设、综合利用、装备制造等页岩气全产业链集群式发展模式,到 2017 年,全市将累计投资近 700 亿元,实现页岩气产能 150 亿 $\text{m}^3/\text{年}$,产量 100 亿 m^3 ;到 2020 年累计投资 1300 多亿元,实现页岩气产能 300 亿 $\text{m}^3/\text{年}$,产量 200 亿 m^3 ,全产业链产值突破 1300 亿元。

贵州省临近云南省,作为一个一直“富煤、无油、少气”的地区,能源结构较为单一,然而近年的勘探结果显示贵州页岩气资源十分丰富,位居全国第三。2012 年 3 月~2013 年 6 月,由中国地质大学、成都地质矿产研究所、贵州省地质调查院、贵州省煤矿地质工程咨询与地质环境监测中心分区承担了全省的页岩气资源调查项目。完成了包括实测目的层剖面 67 条共 16km,累积取样 3939 件,二维地震勘查 1229km 的野外地质调查,收集了 62 个钻井的资料,完成实验分析 9772 项次,实施了 26 个参数井钻探。基本查明贵州潜质页岩气发育层系 7 个,主要为下寒武统牛蹄塘组和变马冲组、下志留统龙马溪组、中泥盆统火烘组、下石炭统旧司组、中二叠统梁山组、上二叠统龙潭组。计算页岩气地质资源量 13.54 万亿 m^3 ,可采资源量约 1.95 万亿 m^3 。

位于云南省东北部的四川省页岩气资源也比较丰富,国土资源部油气资源战略研究中心发布的《全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选》显示,四川省

的页岩气资源量约为 27.5 万亿 m^3 ，占全国的 21%。而从预估可采资源量方面来看，四川约有 4.42 万亿 m^3 页岩气可开采，占全国的 18%，无论是页岩气的地质资源量还是可开采资源量，四川省均居全国首位。我国勘探的第一口页岩气井就位于四川宜宾长宁县，经过几年的页岩气勘探和开发，已取得一定成果。数据显示，早在 2013 年年底，四川省已钻完页岩气井 36 口，占全国的 20.2%；已完成页岩气井压裂 31 口，约占全国的 25%，其中经压裂见气 30 口，成功率高达 96.7%；累计开采出页岩气 9385 万 m^3 ，销售使用页岩气达 7565 万 m^3 ，分别占全国的 42.3% 和 37.1%。

二、云南省页岩气地质研究工作

目前云南省页岩气地质勘查程度还很低，未系统开展全省范围内页岩气资源调查，资源总量和分布情况尚未掌握。据了解，已知云南页岩气区域仅中石油在滇、黔、川三省交界地区选定页岩气示范区（现已升级为国家级页岩气开发示范区，即滇黔北昭通国家级页岩气示范区），包含了云南昭通的部分面积，该示范区位于四川盆地南部边缘向云贵高原的过渡区，地跨四川筠竹，云南镇雄、彝良、威信和贵州毕节、威宁、赫章等地，现登记矿权面积 15183.40 km^2 ，作业甲方中石油浙江分公司及北京中油石油技术有限公司在该区内开展路线踏勘、区域地质调查、页岩气选区综合评价等基础地质工作，认为此地区的页岩气目的层为下志留统龙马溪组和下寒武统筇竹寺组。

自 2009 年以来，中石油浙江分公司在云南昭通的镇雄、彝良、盐津、威信等县开展了页岩气勘探工作，获得了目的层段关键参数，昭通区块 YS108H1-1 水平井（龙马溪组）获得最高 20 万 $\text{m}^3/\text{日}$ 的工业气流，实现了云南省内页岩气的勘查突破，长宁、威远和昭通区块共获得三级储量 2000 多亿 m^3 ，为推动云南省页岩气资源调查评价与勘探开发工作奠定了坚实的基础。

与此同时，云南省页岩气重点目标层下寒武统筇竹寺组在川西南威远地区的金页 1HF 井分段压力测试获得 8 万 $\text{m}^3/\text{日}$ 的高产气流；上三叠统须家河组在川西新页 HF-2 水平井中压裂试气最高产量达 4.6 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ，均显示出良好的勘探前景。根据已有资料分析研究，云南省发育有数套富有机质泥页岩层系，分布广、厚度大、有机质丰度与热演化程度高、脆性矿物发育，具有与四川、重庆、贵州相似的沉积环境和形成大规模页岩气资源的物质基础，特别是滇东北、滇东、滇东南、滇中区块，其总体位于上扬子地区，具有较好的页岩气勘探潜力。

第三节 云南省页岩气资源调查范围与内容

一、调查区范围与调查层段

调查区范围为云南省全境。根据区域地质背景及地质构造单元,将全省划分为滇东北、滇东、滇东南、滇中(楚雄盆地)及滇西(兰坪—思茅盆地、保山盆地)五个页岩气资源调查评价区(图 1-3)。

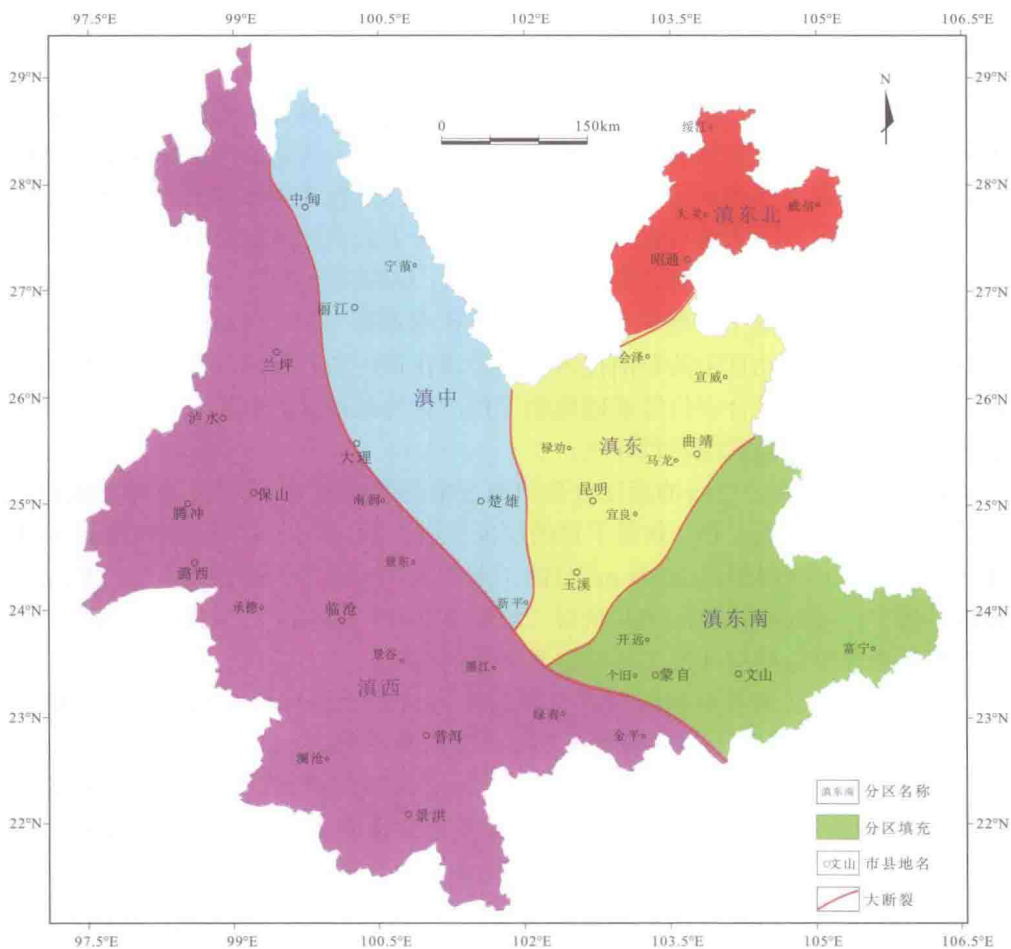


图 1-3 云南省页岩气工作区范围及分区位置示意图

各分区富有机质泥页岩主要地层分述如下。

(1) 滇东北区：滇东北区富有机质泥页岩主要地层为下寒武统筇竹寺组、下奥陶统湄潭组、下志留统龙马溪组、下泥盆统边菁沟组、中泥盆统红崖坡组、上石炭统万寿山组、上二叠统龙潭组与长兴组、上三叠统含煤地层。

(2) 滇东区：滇东区富有机质泥页岩主要地层为下寒武统筇竹寺组、上志留统玉龙寺组、中二叠统梁山组、上二叠统宣威组（龙潭组+长兴组）、三叠系法郎组和火把冲组含煤地层。

(3) 滇东南区：滇东南区富有机质泥页岩主要地层为下寒武统筇竹寺组、下泥盆统坡脚组、上二叠统龙潭组、中三叠统法郎组。

(4) 滇中区：滇中区富有机质泥页岩主要地层为上二叠统黑泥哨组，上三叠统干海子组及舍资组、松桂组。

(5) 滇西区：滇西区富有机质泥页岩主要地层为上寒武统保山组、下志留统仁和桥组（相当于龙马溪组）、上二叠统龙潭组。

二、调查与评价主要内容

调查云南省境内黑色泥页岩分布层系，以下寒武统筇竹寺组、下志留统龙马溪组、上志留统玉龙寺组、上三叠统干海子组及舍资组（须家河组）等富有机质泥页岩层系为重点，初步揭示富有机质泥页岩分布规律、含气特征及页岩气资源潜力，优选页岩气有利目标区。

（一）富有机质泥页岩分布规律研究

充分收集基础地质资料和钻井资料，总结区域地质背景与构造演化特征，结合野外露头调查和钻探工程，统计云南省泥页岩主要发育层段（下寒武统筇竹寺组、下志留统龙马溪组、上志留统玉龙寺组、上二叠统宣威组、上三叠统干海子组和舍资组等）的泥页岩厚度、岩性特征情况，分析沉积物岩性组合特征、古生物组合特征，根据沉积学、古生物学、沉积地球化学、地球物理测井等标志，从整体上把握目的层沉积格局，划分沉积相，并探讨泥页岩的垂向沉积环境变化；通过对比各井资料，对全省富有机质泥页岩厚度及岩性组合类型进行横向和纵向上的对比，确定泥页岩厚度及岩性组合特征的空间展布规律。

（二）页岩气地质特征研究

以含气泥页岩生烃潜力、储集性评价和保存条件等因素为重点，开展页岩气地质特征研究。在野外露头观测和钻井柱状分析的基础上，结合有机碳测试、镜质组反射率测试、岩石薄片鉴定、扫描电镜观测、X 射线衍射矿物成分分析等实验手段，从岩石学、有机地化特征、储层物性等角度对页岩进行研究：确定泥页